«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный

университет им. П.Г. Демидова»

к.б.н., доцент Е.А. Флёрова

02 апреля 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

на диссертацию **Кузьмичева Михаила Дмитриевича**

«Ренормгрупповые функции в калибровочных теориях с N=1 суперсимметрией»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.3 – теоретическая физика

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа М.Д. Кузьмичева посвящена исследованию квантовых свойств N=1 суперсимметричных калибровочных теорий. Данные теории представляют интерес с феноменологической точки зрения, поскольку они часто используются для построения моделей взаимодействия фундаментальных частиц за рамками Стандартной модели. Кроме того, на квантовом уровне в теориях с N=1 суперсимметрией существует немало интересных особенностей, улучшающих их ультрафиолетовое поведение, например, отсутствие квадратичных расходимостей и неперенормировка суперпотенциала. Отметим также, что модели с N=1 суперсимметрией содержат точные соотношения, которые связывают между собой различные

ренормгрупповые функции. Одним из них является NSVZ соотношение, полученное Новиковым, Шифманом, Вайнштейном и Захаровым и связывающее β-функцию с аномальной размерностью суперполей материи во всех порядках теории возмущений.

Важно отметить, что точные соотношения между ренормгрупповыми функциями выполняются, вообще говоря, только при определенных перенормировочных предписаниях. Например, известно, что в наиболее часто используемой для суперсимметричных теорий $\overline{DR}$ схеме NSVZ соотношение не выполняется в тех порядках теории возмущений, где становится существенной схемная зависимость ренормгрупповых функций. Однако, как было показано, при использовании регуляризации высшими ковариантными производными и минимальных вычитаний логарифмов, формула NSVZ справедлива во всех порядках теории возмущений. Для доказательства этого факта использовались недавно доказанная теорема о конечности тройных духово-калибровочных вершин, а также новая форма NSVZ соотношения, полученная с помощью данной теоремы. В диссертации М.Д. Кузьмичева эти утверждения проверяются непосредственными вычислениями в двух- и трехпетлевом приближениях, соответственно. В этих порядках становится принципиально важной схемная зависимость. Таким образом, проведенные автором расчеты крайне важны для проверки общих утверждений о перенормировочных предписаниях, в которых справедливо NSVZ соотношение. Следует отметить, что эти вычисления являются очень сложными технически, однако необходимость их проведения не вызывает сомнений.

В диссертации М.Д. Кузьмичева исследуется также важный частный случай N=1 суперсимметричных теорий, а именно, так называемые теории с $P = \frac{1}{3}Q$ связью. Интерес к данным теориям связан с тем, что в них отношение юкавских констант связи к калибровочной является ренормгрупповым инвариантом с точностью до двухпетлевых вкладов, включительно. Если это выполняется и в следующих порядках теории возмущений, то юкавские константы связи можно выбрать пропорциональными калибровочной и, тем самым, уменьшить число независимых констант связи. Такая процедура обычно называется редукцией констант связи и активно обсуждается в литературе. Кроме того, для $P = \frac{1}{3}Q$ теорий точное соотношение может быть написано не только для β-функции, но и для аномальной размерности суперполей материи в предположении ренорминвариантности отношения юкавских констант связи к

калибровочной. В диссертации М.Д. Кузьмичевым из этого точного соотношения получена формула, связывающая аномальные размерности духов, квантового калибровочного суперполя и суперполей материи. При этом было показано, что данная формула безусловно выполняется в однопетлевом приближении, а в следующем двухпетлевом приближении существуют схемы, с использованием которых она также справедлива. Как следствие, автором диссертации были найдены некоторые точные соотношения для аномальных размерностей квантовых суперполей материи.

Основные результаты и содержание диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Во введении рассматривается актуальность и разработанность темы исследования.

В главе 1 рассматривается N=1 суперсимметричная теория Янга-Миллса и исследуется справедливость духовой части новой формы NSVZ соотношения. С этой целью, для вакуумных суперграфов с петлей духов Фаддеева-Попова устанавливается связь между генерируемыми ими трехпетлевыми вкладами в β-функцию и двухпетлевыми вкладами в аномальную размерность духов Фаддеева-Попова. При этом учтены вклады в β-функцию от всех суперсимметричных диаграмм, получаемых при добавлении двух внешних линий фонового калибровочного суперполя, и вклады в аномальную размерность – разрезанием духовой петли всеми возможными способами. Вычисления, проведенные с использованием регуляризации высшими ковариантными производными для ренормгрупповых функций, определенных в терминах голых констант связи, полностью подтвердили справедливость новой формы NSVZ соотношения в рассматриваемом случае.

Во второй главе для трехпетлевого непланарного вакуумного суперграфа с петлей суперполей материи на диаграмном уровне была проведена аналогичная проверка справедливости NSVZ соотношения для случая N=1 суперсимметричной электродинамики и новой формы NSVZ соотношения для случая N=1 суперсимметричной теории Янга-Миллса. Для регуляризации данных теорий также использовался метод высших ковариантных производных, а вычисления проводились для ренормгрупповых функций, определенных в терминах голых констант связи.

В главе 3 рассматривались N=1 суперсимметричные калибровочные теории, регуляризованные высшими ковариантными производными, для

которых в двухпетлевом приближении проверялась теорема о конечности тройных духово-калибровочных вершин. Данная теорема играет существенную роль при доказательстве NSVZ соотношения, и ее проверка очень важна для подтверждения правильности этого доказательства, а также общих утверждений о схемах перенормировки, в которых справедлива NSVZ формула. В диссертации было вычислено большое количество двухпетлевых супердиаграмм, дающих вклад в данные вершины. Вклады некоторых из них оказались расходящимися, но при суммировании со вкладами от других супердиаграмм, вычисленных соавторами соответствующих совместных работ, полученный результат оказался конечным в двухпетлевом приближении. Это подтвердило общее утверждение о конечности тройных духово-калибровочных вершин в рассматриваемом порядке теории возмущений.

В четвертой главе для N=1 суперсимметричных теорий с $P = \frac{1}{3}Q$ связью исследовались следствия возможной ренорминвариантности отношения юкавских констант связи к калибровочной. С помощью теорем о конечности суперпотенциала и тройных духово-калибровочных вершин было получено новое соотношение между аномальными размерностями квантового калибровочного суперполя, духов Фаддеева-Попова и суперполей материи. Это соотношение было проверено на однопетлевом уровне, в двухпетлевом приближении было показано, что существуют такие схемы перенормировки, в которых оно будет справедливо. В предположении, что это соотношение справедливо во всех порядках теории возмущений, был получен ряд точных формул для аномальной размерности суперполей материи в $P = \frac{1}{3}Q$ теориях.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

Общая оценка диссертационной работы.

Диссертационная работа М.Д. Кузьмичева посвящена важной и актуальной теме исследования суперсимметричных квантовых теорий поля. Данная работа носит теоретический характер, однако некоторые ее аспекты имеют отношение к феноменологическим исследованиям свойств и взаимодействий элементарных частиц. Результаты, представленные в диссертации М.Д. Кузьмичева, являются новыми и представляют большой интерес для специалистов в области квантовой теории поля. Вычисления в высших порядках теории возмущений для N=1 суперсимметричных теорий являются нетривиальными и сложными с технической точки зрения. Полученные результаты свидетельствуют о глубоких знаниях соискателя по

квантовой теории поля вообще и суперсимметричных калибровочных теорий, в частности. Им продемонстрировано отличное владение математическим аппаратом, используемым в квантовой теории поля, в том числе, в суперсимметричном случае, а также умение проводить сложные аналитические вычисления. Основные идеи и положения работы были опубликованы в 6 статьях в высокорейтинговых международных журналах, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science, а также в 5 работах в трудах конференций. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

В качестве основного замечания, укажем следующее. При исследовании суперсимметричных теорий с $P = \frac{1}{3}Q$ связью непосредственными вычислениями показана справедливость формулы (4.16), выражающая соотношение между аномальными размерностями полей материи, суперпотенциала и духов в однопетлевом и, при определенном предписании, двухпетлевом приближении. Данный результат опубликован и вынесен, в качестве одного из основных, на защиту. Однако, на уровне трех петель, как показано в диссертационной работе, это соотношение не выполняется при ренормировочном предписании (4.4). Таким образом, надо либо модифицировать предписание, либо наложить дополнительные ограничения на юкавские константы связи. В любом случае, необходимо провести дополнительное исследование о существовании точного соотношения в данных суперсимметричных теориях. Поскольку указанная сложная проблема выходит за рамки диссертационной работы, это замечание следует воспринимать, скорее, как пожелание соискателю.

Необходимо также отметить, что текст диссертации содержит опечатки и имеются недостатки в оформлении работы. Например, запись $K_K \equiv K\left(\frac{K^2}{\Lambda^2}\right)$, в формулах (2.39) и (2.40) — не очень удачна, поскольку в ней разные величины обозначаются одной и той же буквой. Возможно, лучше было бы использовать для петлевых импульсов другие обозначения.

Тем не менее, указанные выше замечания не являются принципиальными и не снижают ценность проделанного автором диссертационного исследования.

Диссертационная работа М.Д. Кузьмичева «Ренормгрупповые функции в калибровочных теориях с N=1 суперсимметрией» представляет собой законченное научное исследование и полностью соответствует требованиям

пп. 9-14 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения учёных степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Михаил Дмитриевич Кузьмичев заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

Отзыв подготовлен по итогам выступления М.Д. Кузьмичева на научном семинаре кафедры теоретической физики.

Отзыв составил:

профессор кафедры теоретической физики ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», доктор физико-математических наук, доцент

А.А. Гвоздев.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры теоретической физики ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова» 27 марта 2024 года, протокол № 6.

Заведующий кафедрой теоретической физики ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», кандидат физико-математических наук, доцент

А.Я. Пархоменко

Адрес ведущей организации:
Россия, 150003, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14
тел.: +7 (4852) 72-82-56, +7 (4852) 79-77-02
факс: +7 (4852) 25-57-87
email: rectorat@uniyar.ac.ru

Подпись заверяю:
Заместитель начальника управления-
директор центра кадровой политики
Л.Н. Куфирина